

## Sistem Peringatan Sisa Pulsa Pada KWH Meter Digital Prabayar

Kevin<sup>1</sup> dan Fahraini Bacharuddin<sup>2</sup>

**Abstract:** *Prepaid digital Kilo Watt Hour (KWH) meter is one of the most advanced electrical measurement equipment resulted from the evolving technology development. The payment system which is similar with the mobile phone's payment system allows users to easily adjust their electrical power consumption, so that the power consumption becomes more effective and controllable. However, the prepaid digital KWH meter also has a disadvantage. If users forget to refill the tokens credit and the remainder of the tokens credit has been used up, there will be direct automatic disconnection of the power supply. The warning system design of the prepaid digital KWH meter is the key solution. The design of this sytem consists of a power supply module, a detector module, a microcontroller module, an interface between microcontroller and GSM module, and switch driver for relay modules. The system starts to work when the detector module detects a change in one of the indicators which is contained in the prepaid digital KWH meter. The result is then processed in the microcontroller module, to further warning actions. The warning actions are in the form of short message service and relay automation system. The purpose of this design is to improve the warning system within the prepaid digital KWH meter, so users will be able to monitor their KWH meter and avoid the disconnection of the power supply which is caused by forgetting to refill the tokens credit.*

**Keywords:** *prepaid digital KWH meter, warning system, microcontroller, short message service, relay*

**Abstrak:** Kilo Watt Hour (KWH) meter digital prabayar adalah salah satu peralatan pengukuran listrik canggih yang merupakan hasil dari kemajuan teknologi yang semakin berkembang pesat. Sistem pembayarannya yang mirip dengan isi ulang pulsa pada telepon seluler memungkinkan pengguna untuk lebih mudah mengatur jumlah pemakaian daya listrik secara mandiri, sehingga pemakaian daya menjadi lebih irit dan sesuai kebutuhan. Akan tetapi, sistem KWH meter digital prabayar juga memiliki kelemahan. Jika pengguna KWH meter jenis ini lupa untuk melakukan isi ulang token pulsa, maka ketika token pulsa tersebut habis terpakai, akan terjadi pemutusan pasokan listrik secara langsung. Perancangan sistem peringatan pada KWH meter digital prabayar merupakan solusinya. Perancangan sistem ini terdiri atas modul catu daya, modul detektor, modul mikrokontroler, modul interface antara modul mikrokontroler dengan modul GSM, dan modul switch driver untuk relay. Cara kerja dari sistem ini adalah pertama dengan mendeteksi perubahan pada salah satu indikator yang terdapat pada KWH meter digital prabayar. Hasil deteksi kemudian diolah di dalam mikrokontroler, untuk selanjutnya dilakukan tindakan peringatan. Tindakan peringatan yang dilakukan adalah berupa pengiriman pesan singkat dan sistem otomatisasi pemutusan arus listrik dengan menggunakan relay. Tujuan dari perancangan sistem peringatan KWH meter digital prabayar adalah untuk meningkatkan sistem peringatan KWH meter agar dapat menjangkau pengguna secara real time, sehingga pengguna terhindar dari pemutusan pasokan listrik total yang diakibatkan karena lupa melakukan isi ulang token pulsa KWH meter.

**Kata kunci:** KWH meter prabayar, sistem peringatan, mikrokontroler, pesan singkat, relay

### PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi yang berkembang pesat belakangan ini mendorong munculnya berbagai peralatan pengukuran listrik yang semakin canggih, termasuk di antaranya *Kilo Watt Hour* meter (KWH) digital prabayar. Berbeda dari KWH meter analog, pada sistem KWH meter digital prabayar, sistem pembayaran tidak lagi dilakukan berdasarkan pengukuran jumlah daya yang telah digunakan oleh pengguna dalam jangka waktu tertentu, melainkan berdasarkan token pulsa pada KWH meter tersebut. Cara kerjanya mirip dengan isi ulang pulsa pada telepon seluler. Pada sistem ini, pengguna melakukan pembayaran melalui sistem prabayar. Pembayaran tersebut dilakukan atas dasar perkiraan jumlah daya dalam *kilowatt* (kW) yang hendak digunakan oleh pengguna.

Banyak kelebihan yang didapat dengan adanya sistem KWH meter digital prabayar ini. Sebagai contoh, sekarang pengguna dapat mengatur pemakaian jumlah daya sehingga pemakaiannya menjadi lebih irit dan sesuai dengan kebutuhan. Selain itu, baik pengguna ataupun pihak PLN (singkatan diberi perpanjangannya) kini juga tidak perlu lagi repot berurusan dengan pencatat meter ataupun dengan jadwal pembayaran setiap bulannya. Kerepotan ini dapat dihindari dengan sistem KWH meter digital yang menerapkan pola pembayaran prabayar. Meskipun demikian, sistem KWH meter digital ini juga mempunyai kelemahan. Jika pengguna sistem KWH meter digital prabayar ini lupa untuk mengisi token pulsa pada KWH meter, maka ketika token pulsa tersebut habis terpakai, akan terjadi pemutusan pasokan listrik secara langsung. Pasokan listrik hanya dapat diperoleh kembali jika pengguna melakukan pengisian ulang token pulsa KWH meter tersebut. Kelemahan ini tentu menjadi pengganggu aktivitas dari pengguna.

Sistem peringatan yang ada pada KWH meter sekarang ini adalah hanya berupa perubahan indikator cahaya lampu *Light Emitting Diode* (LED) dan bunyi alarm yang terbatas jangkauannya.[1] Keduanya seringkali tidak cukup membantu para pengguna. Hal tersebut dikarenakan pada umumnya KWH meter diletakkan di luar rumah, pabrik, atau bangunan lain seperti gudang, sehingga sistem peringatan tersebut tidak dapat didengar atau dilihat oleh pengguna, terlebih bila pengguna sedang berada jauh dari tempat KWH meter tersebut, sebagai contoh ketika pengguna berada di kota lain. Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan sistem peringatan yang lebih efisien dan dapat menjangkau pengguna di mana saja secara *real time*. Sistem peringatan yang akan dirancang akan memanfaatkan salah satu fitur dari KWH meter, yaitu perubahan cahaya indikator LED.

Perubahan cahaya tersebut akan dideteksi oleh suatu fotodetektor. Fotodetektor ini kemudian akan terhubung dengan sistem mikrokontroler yang dengan otomatis memutus arus listrik yang masuk pada saklar-

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara Jakarta

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana Jakarta

saklar *Main Circuit Breaker* (MCB) bangunan secara satu per satu, dalam selang waktu tertentu sesuai perkiraan konsumsi daya listrik, pada saat token pulsa berada di bawah batas kredit. Hal tersebut bertujuan untuk mengurangi daya pemakaian pada bangunan, sehingga sisa token pulsa yang berada di bawah batas kredit dapat digunakan secara lebih irit. Lebih lanjutnya, dengan adanya sistem pemadaman saklar MCB otomatis ini, pengguna juga akan mendapat tambahan waktu untuk melakukan pengisian ulang KWH meter sebelum terjadinya pemutusan pasokan listrik secara keseluruhan yang diakibatkan karena habisnya sisa token pulsa KWH meter.

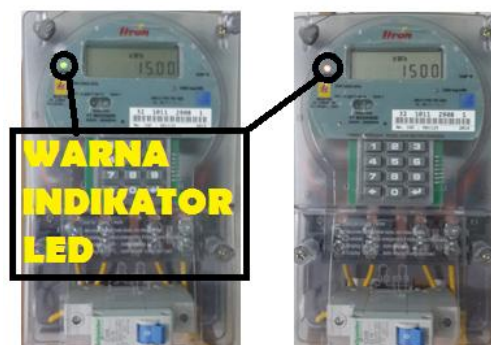
Selain melakukan proses pemadaman saklar MCB, modul mikrokontroler pada saat yang bersamaan juga akan mengirimkan sistem peringatan lain. Sistem peringatan lain itu sendiri berupa pesan singkat atau *Short Message Service* (SMS) yang akan dikirim secara otomatis melalui modul *Global System for Mobile Communication* (GSM) kepada pengguna. Isi pesan berupa peringatan bahwa jumlah token pulsa pada KWH meternya hampir habis. Melalui SMS tersebut diharapkan pengguna dapat segera melakukan isi ulang token pulsa pada KWH meter bangunannya.

Survei dalam perancangan sistem ini dilakukan dengan cara mengamati cara kerja sistem peringatan KWH meter digital prabayar yang dipakai dalam beberapa rumah. Survei dilakukan sebanyak dua kali. Survei dilakukan pertama kali pada tanggal 17 November 2014 pada sejumlah rumah di kompleks perumahan Kelapa Gading, Jakarta Utara. KWH meter yang digunakan ditampilkan dalam Gambar 1. KWH meter ini memiliki dua fitur peringatan, yaitu perubahan indikator lampu LED dan sistem bunyi alarm.



■ **Gambar 1.** KWH Meter Digital Prabayar Hasil Survei Pertama

Indikator LED akan berwarna hijau jika sisa token pulsa berada di atas batas kredit dan akan berubah menjadi warna merah berkedip-kedip ketika sisa token pulsa tersebut berada di bawah batas kredit. Gambar 2 memperlihatkan perubahan indikasi LED bagi kedua keadaan yang dijelaskan di atas. Batas kredit pada KWH meter sehubungan dengan sinyal peringatan itu sendiri bersifat *adjustable* sesuai dengan pertimbangan waktu yang diperlukan pengguna untuk bertindak menghindari pemutusan pasokan listrik yang tidak diinginkan. Jangkauan variasi yang tersedia adalah antara 5 kW sampai dengan 99 kW.



■ **Gambar 2.** Keadaan KWH Meter Selama di Atas dan di Bawah Batas Kredit

Survei kedua dilakukan pada tanggal 23 November 2014 di kompleks perumahan The Icon, BSD, Tangerang Selatan. Pada kompleks perumahan ini jenis KWH meter yang digunakan dapat terlihat seperti pada Gambar 3 berikut.

Prinsip kerjanya sama seperti KWH meter sebelumnya. Yang membedakan hanyalah pada indikator LED. Indikator LED pada KWH meter ini berwarna hijau pada saat sisa token pulsa masih berada di atas batas kredit dan berubah menjadi merah tetapi tidak berkedip-kedip pada saat berada di bawah batas kredit. KWH meter ini juga memiliki fitur bunyi alarm dan menawarkan batas kredit yang bersifat *adjustable*.



■ Gambar 3. KWH Meter Digital Prabayar Hasil Survei Kedua

### KAJIAN PUSTAKA

Alat yang dirancang dalam tugas akhir ini (delete) adalah sistem peringatan untuk KWH meter digital prabayar dengan menggunakan modul *Global System for Mobile Communication* (GSM). Sistem ini akan (delete) memanfaatkan salah satu fitur peringatan yang sudah ada pada KWH meter, yaitu indikator *Light Emitting Diode* (LED). Indikator LED ini sendiri akan berwarna hijau pada saat sisa token pulsa berada di atas batas kredit dan berubah menjadi berwarna merah pada saat sisa token pulsa berada di bawah batas kredit. Batas kredit yang ada pada KWH meter digital prabayar bersifat *adjustable* dan dapat diatur secara manual oleh pengguna. *Range* dari batas kredit tersebut adalah antara 5 kW sampai dengan 99 kW.

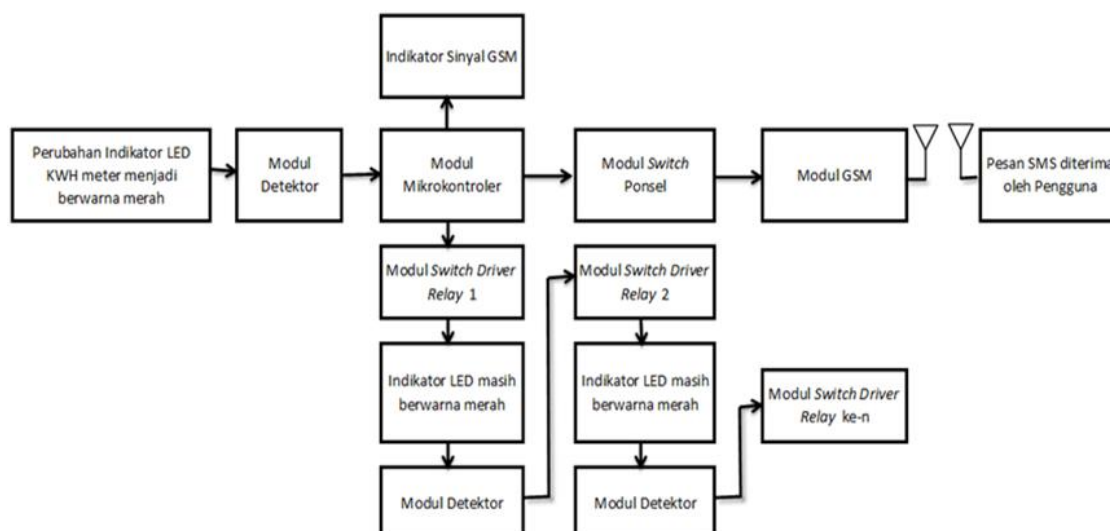
Perubahan nyala indikator LED ini kemudian akan ditangkap oleh sensor fotodetektor. Pada saat sensor fotodetektor melihat adanya perubahan nyala indikator LED dari yang berwarna hijau menjadi merah, maka fotodetektor akan langsung mengirimkan sinyal ke dalam modul mikrokontroler. Modul mikrokontroler lalu akan secara otomatis melakukan pengiriman *Short Message Service* (SMS) kepada pengguna. SMS tersebut akan dikirim melalui modul GSM dan berisi peringatan agar pengguna segera melakukan pengisian ulang.

Selain melakukan pengiriman peringatan melalui SMS, modul mikrokontroler juga secara bersamaan akan mengaktifkan proses pemutusan arus listrik yang masuk pada saklar *Main Circuit Breaker* (MCB) bangunan dengan menggunakan *relay*. Saklar-saklar MCB ini tidak akan sekaligus mengalami pemutusan arus listrik secara langsung, melainkan satu per satu. Sebelum setiap proses pemutusan, pengguna akan terlebih dahulu diberi peringatan melalui SMS. Jumlah saklar dan interval waktu antara proses pemutusan masing-masing saklar MCB dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengguna.

Tujuan dari proses pemadaman ini sendiri adalah untuk melakukan penghematan pemakaian daya pada saat sisa token pulsa berada di bawah batas kredit, sehingga menghambat terjadinya proses pemadaman total sekaligus memberikan tambahan waktu bagi pengguna untuk melakukan pengisian ulang pada KWH meter.

### Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem secara keseluruhan yang diperoleh berdasarkan deskripsi konsep pada subbab sebelumnya dapat terlihat pada Gambar 4.

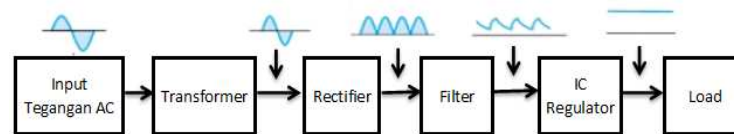


■ Gambar 4. Diagram Blok Cara Kerja Sistem KWH Meter Digital Prabayar

## Catu Daya

Catu daya pada rangkaian sistem ini dibuat untuk digunakan sebagai sumber daya listrik untuk modul-modul lain. Modul catu daya ini sendiri bekerja dengan mengubah tegangan *Alternating Current* (AC) sebesar 220 V<sub>AC</sub> yang diterima dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) menjadi tegangan *Direct Current* (DC). Dalam perancangan sistem ini, tegangan DC yang akan dibutuhkan adalah 5 V<sub>DC</sub>. Catu daya sebesar 5 V<sub>DC</sub> ini akan digunakan sebagai sumber tegangan pada modul detektor, modul mikrokontroler, dan *relay* pada modul *switch driver*.

Pembuatan modul catu daya meliputi 4 bagian penting. Empat bagian penting tersebut adalah *transformer*, *rectifier*, proses filter dan *regulator*. [2] Proses dimulai dengan menurunkan tegangan AC dari PLN dengan menggunakan *transformator step down*. Kemudian tegangan AC yang telah diturunkan akan melewati *rectifier* untuk diubah menjadi tegangan DC. Setelah itu, tegangan DC tersebut masuk ke dalam *filter* dan *regulator*. *Filter* berfungsi sebagai penyaring frekuensi tegangan DC dari *rectifier*, sedangkan *regulator* berfungsi sebagai pengatur hasil keluaran tegangan DC. Diagram blok dari rangkaian modul catu daya ini dapat dilihat pada Gambar 5.



■ Gambar 5. Diagram Blok Modul Catu Daya

## Integrated Circuit (IC) Regulator

IC *Regulator* adalah komponen yang berfungsi untuk menghilangkan *ripple* tegangan yang keluar dari filter *power supply* dan sekaligus juga digunakan untuk menstabilkan nilai keluaran tegangan DC yang dihasilkan agar selalu tetap sama walaupun tegangan yang berasal dari filter atau *rectifier* berubah-ubah. Pada perancangan sistem ini, semua modul yang dirancang membutuhkan catu daya sebesar 5V<sub>DC</sub>, maka dari itu IC *Regulator* yang digunakan adalah IC dengan tipe LM7805.

## Transformator

*Transformator* atau yang lebih dikenal sebagai trafo adalah alat yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan. Pada sistem ini, jenis *transformator* yang digunakan adalah *transformator step down*, yaitu transformator penurun tegangan. *Transformator step down* ini memiliki fungsi untuk menurunkan tegangan dari 220 V<sub>AC</sub> yang didapat Perusahaan Listrik Negara (PLN) menjadi tegangan yang lebih kecil sesuai dengan kebutuhan. Pada sistem ini, trafo yang digunakan adalah trafo bertegangan positif dengan maksimum *output* sebesar 9.5Volt.

## Dioda Bridge

Dioda *bridge* pada modul *power supply* berfungsi sebagai *rectifier*, yaitu berfungsi sebagai pengubah tegangan *Alternating Current* (AC) menjadi tegangan *Direct Current* (DC). Dioda *bridge* yang digunakan pada sistem ini bertipe RS307L.

## Mikrokontroler

Modul mikrokontroler pada sistem ini adalah pemroses utama dari seluruh kegiatan. Modul ini akan menerima *input* dari fotodetektor, yang digunakan untuk mendeteksi perubahan nyala lampu indikator LED pada KWH meter. Ketika nyala indikator LED berubah dari berwarna hijau menjadi merah, maka modul ini akan mengirimkan sinyal kepada *relay* pada modul *switch driver* untuk melakukan pemadaman saklar-saklar MCB dan kepada modul GSM untuk memberikan peringatan berupa SMS kepada pengguna.

Beberapa fungsi dalam mikrokontroler yang akan digunakan dalam perancangan sistem ini antara lain *interrupt* dan *timer*. *Interrupt* seperti namanya berguna untuk menginterupsi aliran program utama untuk melakukan suatu *subroutine* program tertentu. Setelah itu sistem akan kembali meneruskan aliran program utama. Dalam sistem ini, yang dimaksud dengan program utama adalah aliran program yang dijalankan pada saat detektor mengamati nyala indikator LED. Jika terjadi perubahan keadaan LED, maka program tersebut akan terinterupsi dan melakukan tindakan lain, yaitu seperti mematikan saklar MCB dan mengirim pesan. Fungsi lain yang akan digunakan pada perancangan sistem ini adalah fungsi *timer*. *Timer* berguna untuk mengatur interval waktu antara proses pemadaman saklar-saklar MCB yang dilakukan oleh *relay* pada modul *Switch Driver*.

Untuk menjalankan suatu mikrokontroler diperlukan suatu rangkaian minimum sistem. Rangkaian minimum sistem adalah suatu rangkaian yang dipakai untuk mengoptimasi kinerja dari mikrokontroler dengan menggunakan rangkaian analog. Pada rangkaian ini nantinya akan terdapat beberapa komponen seperti *serial data communication* yang digunakan untuk menghubungkan perangkat keras lain seperti, *Personal Computer*

(PC) dan modul *Global System for Communication* (GSM) pada mikrokontroler, dan *crystal oscillator* yang digunakan untuk meningkatkan *clock* dari mikrokontroler itu sendiri.

Mikrokontroler yang digunakan pada perancangan sistem ini adalah mikrokontroler STC dengan tipe 12C5A60S2. STC 12C5A60S2 adalah sebuah *chip* mikrokontroler yang diproduksi berdasarkan arsitektur *Central Processing Unit* (CPU) 8051. Mikrokontroler ini beroperasi pada *voltage range* antara 3.5V sampai dengan 5.5V. Beberapa fitur yang dimiliki oleh mikrokontroler STC 12C5A60S2 antara lain yaitu *Analog to Digital Converter* (ADC), *Random Access Memory* (RAM), *Electrically Erasable Programmable Read Only Memory* (EEPROM), *flash memory* dan komunikasi serial.

RAM adalah memori yang digunakan untuk mengakses ataupun menyimpan data pada saat mikrokontroler dalam keadaan menyala. Data yang disimpan dalam RAM tidak bersifat permanen. Data tersebut akan hilang pada saat mikrokontroler dalam keadaan mati atau tanpa *power supply*. EEPROM merupakan kebalikan dari RAM. Data yang telah disimpan pada EEPROM tidak akan bisa diubah lagi. Satu-satunya cara untuk mengubahnya adalah dengan menghubungkan mikrokontroler ke komputer melalui *Universal Serial Bus* (USB) *port*. Melalui komputer tersebut, maka barulah data dalam EEPROM dapat diubah. Data dalam EEPROM bersifat permanen dan tidak akan hilang walaupun mikrokontroler sedang berada dalam keadaan mati. Jenis memori lainnya adalah *flash memory*. *Flash memory* merupakan jenis memori khusus yang memiliki cara kerja seperti RAM dan ROM. *Flash memory* dapat digunakan untuk mengakses dan menyimpan data secara langsung seperti pada RAM, tetapi data tersebut tidak akan terhapus pada saat daya dimatikan, seperti halnya dengan ROM.

Mikrokontroler STC 12C5A60S2 digunakan pada perancangan sistem ini karena memiliki besaran memori yang relatif cukup besar dan harga yang lebih murah jika dibandingkan dengan jenis mikrokontroler lain yang umum di pasaran, seperti ATMEGA16, ATMEGA32, dan ATMEGA8535. Tabel perbandingan spesifikasi antara mikrokontroler STC 12C5A60S2 dengan beberapa jenis mikrokontroler lainnya dapat dilihat pada Tabel 1.

■ Tabel 1. Perbandingan Spesifikasi Mikrokontroler

Keterangan	STC 12C5A60S2	ATMEGA8535	ATMEGA16	ATMEGA32
RAM	1280 Bytes	512 Bytes	1 KB	1024 Bytes
Flash Memory	64 KB	8 KB	16 KB	32 KB
EEPROM	1 KB	512 Bytes	512 Bytes	2 KB
I/O Lines	32	32	32	32

### Integrated Circuit (IC) MAX 232N

IC MAX 232N pada sistem ini digunakan untuk mengubah logika level TTL/CMOS ke logika RS232 selama proses komunikasi data serial antara mikrokontroler dengan *Personal Computer* (PC) atau modul GSM. Pada umumnya, mikrokontroler bekerja pada logika level antara 0 hingga 5V, sedangkan PC bekerja pada standar RS232, yaitu antara -25V hingga +25V. Hal ini membuat keduanya sulit untuk berkomunikasi satu sama lain. Oleh karena itu, diperlukanlah IC MAX 232N sebagai solusi.

Pada IC MAX 232N terdapat masing-masing 2 buah *receiver* dan *transmitter* khusus. Kedua *transmitter* dan *receiver* tersebut dapat mengubah level tegangan pada mikrokontroler menjadi level tegangan RS232 ataupun sebaliknya. *Receiver* pada IC MAX 232N dapat menerima tegangan dari -30V sampai +30V, sedangkan *transmitter*nya dapat mengubah input TTL ke dalam level RS232.

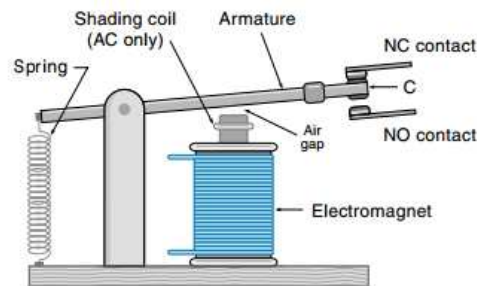
### Relay

*Relay* adalah sebuah perangkat yang menggunakan elektromagnet untuk menghasilkan gaya sebagai pembuka atau penutup kontak *switch*, dengan kata lain sebuah *relay* adalah *electrically powered switch*. [3] Suatu *relay* terbagi dari dua bagian, yaitu: *coil* dan *contact*. *Coil* adalah bagian gulungan kawat yang berfungsi untuk menerima arus listrik, sedangkan *contact* adalah saklar yang pergerakannya tergantung dari ada atau tidaknya arus pada *coil*. *Contact* pada *relay* sendiri terdiri dari dua jenis, yakni: *Normally Open contact* (NO) dan *Normally Closed contact* (NC). *Normally open contact* mempunyai kondisi *open* pada kondisi awal (*unenergized state*), sedangkan *normally closed contact* memiliki kondisi *close* pada kondisi awal. *Relay* bekerja pada saat *coil* menerima arus listrik (*energized*). Akibat dari adanya arus listrik pada *coil* adalah munculnya gaya elektromagnet, yang kemudian akan menarik bagian *armature* yang berpegas, sehingga kontak akan bergeser. Bagian-bagian dari *relay* tersebut dapat dilihat pada Gambar 6, sedangkan simbol skematiknya ditunjukkan pada Gambar 7.

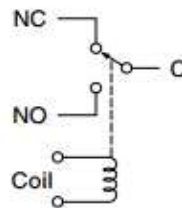
Sama seperti pada *switch*, *relay* dapat juga memiliki beragam jumlah *poles* dan *throw*. *Poles* adalah banyak *contact* yang dimiliki oleh *relay*, sedangkan *throw* adalah jumlah dari kondisi yang mungkin dapat dipunyai oleh *relay*. [4] Beberapa macam contoh jenis *relay* tersebut adalah *Single Pole Single Throw* (SPST),



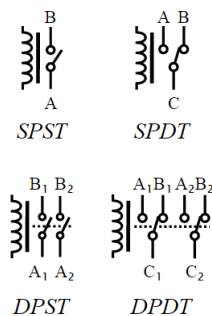
*Single Pole Double Throw (SPDT)*, *Double Pole Single Throw (DPST)*, dan *Double Pole Double Throw (DPDT)*. Skematik dari keempat jenis relay ini dapat dilihat pada Gambar 8.



■ Gambar 6. Bagian-bagian dari Relay [3]



■ Gambar 7. Simbol Skematik Relay [3]



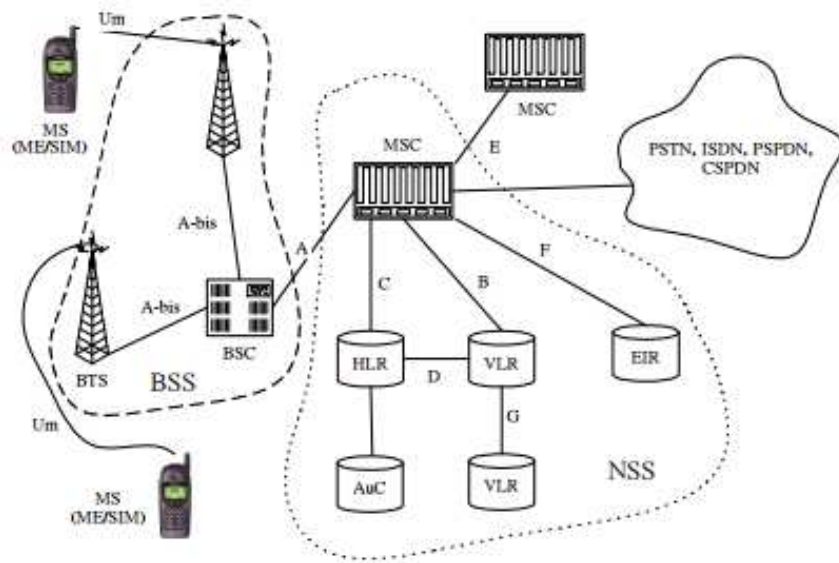
■ Gambar 8. Berbagai Jenis Relay [4]

Sesuai yang telah dijelaskan pada bab (ganti dengan: bagian) sebelumnya, *relay* berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran arus atau sumber tegangan dari suatu perangkat atau modul. *Relay* yang digunakan pada perancangan ini terdiri dari dua jenis. *Relay* pertama merupakan *relay* dengan kapasitas maksimum 1A 120V<sub>AC</sub> 12V<sub>DC</sub>, sedangkan *relay* kedua adalah *relay* dengan kapasitas maksimum sebesar 12A 250V<sub>AC</sub> 30V<sub>DC</sub>. *Relay* pertama berfungsi untuk menghubungkan *relay* kedua dengan sumber tegangannya (Vcc). Pada saat *relay* pertama dalam keadaan *normally open*, *relay* kedua tidak akan terhubung dengan sumber tegangan, sehingga *relay* kedua tersebut tidak akan aktif. *Relay* kedua baru akan mulai bekerja pada saat *relay* pertama berada dalam keadaan *close*. *Relay* kedua berfungsi untuk menghubungkan *output* KWH meter dengan *Mini Circuit Breaker* (MCB). Pada saat *relay* kedua berada dalam keadaan *open*, *relay* akan secara langsung memutuskan aliran arus dari KWH meter ke MCB, sehingga terjadi proses pemadaman.

### Modul Global System for Communication (GSM)

Modul *Global System for Communication (GSM)* adalah suatu modul elektronika yang dipergunakan untuk membantu penyediaan layanan komunikasi antara suatu komputer dengan telepon selular atau dengan komputer lainnya melalui jaringan GSM. GSM sendiri merupakan suatu standar komunikasi yang dikembangkan oleh *European Telecommunication Standard Institute (ETSI)*. Sistem ini pertama kali dikembangkan pada tahun 1991 sebagai protokol untuk komunikasi antar telepon selular. Beberapa kelebihan dari sistem GSM antara lain adalah memiliki jangkauan layanan yang luas dan kecepatan pengiriman data yang jauh melebihi sistem sebelumnya.[5] Arsitektur pada jaringan GSM dapat dilihat pada Gambar 9. Pada gambar dijelaskan bahwa *Mobile Station (MS)*, yang dalam hal ini dapat berupa komputer atau telepon selular, terhubung dengan *MS* lainnya melalui beberapa tahap. Tahap pertama ialah proses penghubungan *MS* dengan jaringan selular melalui *Base Transceiver Station (BTS)*. Kumpulan dari *BTS* kemudian akan terkoneksi menjadi satu *Base Station Controller (BSC)*. Fungsi utama dari *BSC* adalah *call maintenance*. Tugasnya antara lain adalah untuk mengatur proses *handover* *MS* dari suatu *cell* ke *cell* lain.[5] Sistem gabungan antara *BTS* dengan *BSC* dinamakan sebagai *Base Station Subsystem (BSS)*. *BSS* ini lalu berhubungan dengan komponen *switching* pada jaringan GSM, yang

disebut sebagai *Network Switching Subsystem* (NSS). Pada NSS terdapat komponen lain seperti, *Mobile Switching Center* (MSC) yang berguna untuk mengkoordinasikan jalur *routing* dan berbagai macam register yang berfungsi untuk menyimpan dan mengidentifikasi data dari para pelanggan.\

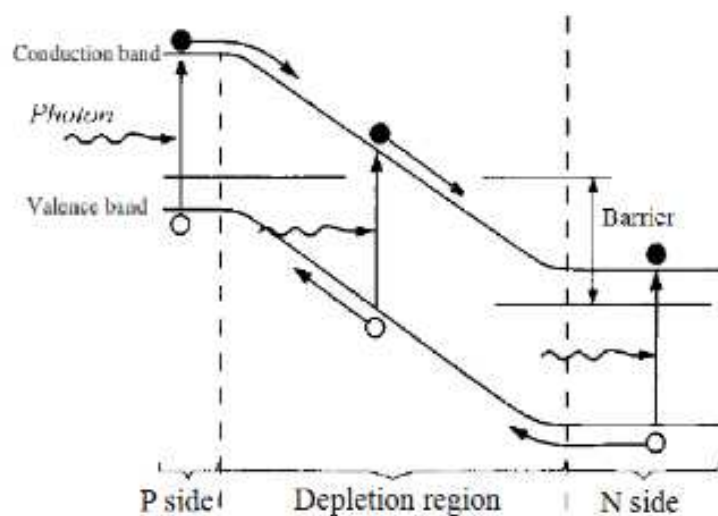


■ **Gambar 9.** Jaringan *Global System for Mobile Communication* (GSM) [6]

Untuk menjalankan keseluruhan fungsi dari suatu modul GSM diperlukan *AT Commands*. *AT Commands* adalah instruksi-instruksi yang digunakan untuk mengontrol modul GSM. AT merupakan singkatan dari *attention*. Setiap perintah yang digunakan pada *AT Commands* harus menggunakan awalan AT. Beberapa contoh perintah *AT Commands*, antara lain adalah AT+CMGS, yang digunakan untuk mengirim pesan singkat, dan AT+CSQ, berfungsi untuk mengetahui kekuatan sinyal pada modul GSM.

## Fotodetektor

Fotodetektor merupakan devais semikonduktor yang digunakan untuk mengubah sinyal cahaya menjadi sinyal listrik. Pengoperasian fotodetektor diawali dengan proses generasi *carrier*. Carrier yang dimaksud adalah pasangan elektron dan *holes* yang dihasilkan sebagai akibat eksitasi elektron oleh penyerapan foton dari sinyal cahaya. Pasangan elektron dan *holes* ini kemudian akan saling bergerak dalam arah berlawanan menuju elektroda masing-masing dan akan menghasilkan arus di bawah pengaruh medan luar. Arus ini disebut juga sebagai *photocurrent*. [7] Langkah kerja fotodetektor dapat dilihat pada Gambar 10.



■ **Gambar 10. Langkah Kerja Fotodetektor**

Berdasarkan Gambar 2.6 dapat dijelaskan lebih lanjut bahwa elektron yang pada mulanya berada pada pita valensi tereksitasi akibat adanya penyerapan foton. Elektron akan tereksitasi ke pita konduksi dan mengakibatkan terbentuknya *holes* pada pita valensi. Elektron dan *holes* kemudian akan bergerak saling berlawanan. Elektron akan bergerak ke sisi n, sedangkan *holes* akan bergerak ke sisi p. Untuk mencegah terjadinya proses rekombinasi kembali antara elektron dan *holes*, maka fotodetektor tersebut harus dengan segera

diberikan tegangan bias balik. Pengaruh dari tegangan bias balik tersebut adalah meningkatkan selisih energi dalam daerah deplesi yang berakibat memperbesar daerah *barrier*, sehingga mempercepat perpindahan elektron dan *holes* menuju sisi kontak logam masing-masing. Setelah pasangan elektron dan *holes* terpisah secara keseluruhan, barulah akan terbentuk *photocurrent*.

Fotodetektor dibagi menjadi 2 jenis, yaitu fotodetektor *thermal* dan fotodetektor foton. Fotodetektor *thermal* adalah jenis fotodetektor yang akan menghasilkan peningkatan panas pada saat ada sinyal cahaya yang terserap. Semakin banyak jumlah cahaya yang terserap pada fotodetektor, maka akan semakin tinggi besar peningkatan panas yang dihasilkan. Secara teknis, dapat dikatakan bahwa fungsi fotodetektor *thermal* mirip dengan sensor *thermal*. Contoh dari fotodetektor *thermal* antara lain adalah *solar cell*. Fotodetektor jenis lainnya ialah fotodetektor foton. Fotodetektor foton merupakan jenis fotodetektor “tradisional”. Fotodetektor ini bekerja berdasarkan *quantum photoelectric effect*. Adapun yang dimaksud dengan *quantum photoelectric effect* adalah efek yang menyebabkan fotodetektor foton menghasilkan *carrier* pada saat fotodetektor terkena sinyal cahaya. Jika sinyal cahaya tersebut dihubungkan dengan rangkaian penunjang eksternal, maka akan dapat dihasilkan sinyal keluaran berupa arus listrik. Beberapa contoh jenis fotodetektor ini adalah fotodioda dan fototransistor.[7]

Beberapa faktor penting dalam penggunaan fotodetektor adalah *response time* dan *quantum efficiency*. *Response time* adalah kecepatan respons dari fotodetektor pada saat ada cahaya yang terserap pada fotodetektor. Devais semikonduktor yang memiliki daerah deplesi lebih pendek akan memiliki kecepatan respon yang lebih cepat dibandingkan dengan devais semikonduktor yang memiliki daerah deplesi lebih lebar, akan tetapi devais yang memiliki daerah deplesi lebih sempit juga memiliki kekurangan. Untuk menghasilkan jumlah pasangan elektron dan *holes* dengan jumlah yang sama, devais yang memiliki daerah deplesi lebih sempit harus mendapatkan jumlah total foton cahaya yang lebih besar dibandingkan dengan devais yang memiliki daerah deplesi lebih besar.

Faktor lain yang menjadi tolak ukur sebuah fotodetektor adalah *quantum efficiency*. *Quantum efficiency* adalah jumlah *carrier* yang dapat dibentuk per jumlah foton yang mengenai fotodetektor. Quantum Efficiency dapat dihitung menggunakan rumus pada Gambar 11 berikut.  $I_{ph}$  merupakan arus *photocurrent* yang dihasilkan oleh fotodetektor, sedangkan  $\Phi$  adalah foton fluks.  $\Phi$  dapat juga dihitung menggunakan  $(= P_{opt}/h\nu)$ , dengan  $P_{opt}$  merupakan *optical power* dan  $h\nu$  adalah tingkat radiasi foton pada fotodetektor.

$$\eta = \frac{I_{ph}}{q\Phi} = \frac{I_{ph}}{q} \left( \frac{h\nu}{P_{opt}} \right)$$

■ Gambar 11. Rumus *Quantum Efficiency* [7]

Jenis fotodetektor yang digunakan dalam perancangan ini adalah fototransistor. Fototransistor merupakan salah satu jenis fotodetektor yang paling mudah untuk dicari di pasaran. Fototransistor juga memiliki kelebihan lain, yaitu memiliki *response time* yang cepat dan *gain* yang besar jika dibandingkan dengan fotodetektor sejenisnya, seperti fotodioda. Adapun yang dimaksud dengan *response time* adalah waktu yang diperlukan fotodetektor untuk bereaksi sesaat setelah mengalami kontak dengan cahaya. Semakin cepat fotodetektor tersebut bereaksi terhadap cahaya, maka akan semakin kecil nilai dari *response time* fotodetektor tersebut.

*Gain* adalah tingkat multiplikasi perubahan setiap foton cahaya yang diterima detektor menjadi pasangan *holes* dan elektron. Semakin besar tingkat *gain* yang dimiliki oleh suatu fotodetektor, maka jumlah *holes* dan foton yang dihasilkan akan semakin besar juga. Hal tersebut dapat diartikan juga bahwa semakin besar tingkat *gain*, semakin tinggi tingkat sensitivitas fotodetektor tersebut. Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat perbandingan tingkat *gain* dan *response time* yang dimiliki oleh beberapa jenis fotodetektor.

■ Tabel 2. Perbandingan *Gain* dan *Response Time* Beberapa Jenis Fotodetektor[7]

Fotodetektor		Gain	Respose Time (detik)
Fotokonduktor		$1-10^{-6}$	$10^{-8}-10^{-3}$
Fotodioda	<i>p-n junction</i>	1	$10^{-11}$
	<i>p-i-n junction</i>	1	$10^{-10}-10^{-8}$
	<i>Metal semiconductor diode</i>	1	$10^{-11}$
CCD		1	$10^{-11}-10^{-4}$
Avalanche fotodioda		$10^2-10^4$	$10^{-10}$
Fototransistor		$10^2$	$10^{-6}$

### Buzzer

*Buzzer* pada sistem ini digunakan sebagai fitur peringatan tambahan. Fitur ini berguna agar pengguna yang berada dekat dengan KWH meter dapat secara langsung mendengar peringatan tanpa harus menunggu SMS dari modul GSM. Dalam penggunaannya, *buzzer* memerlukan sumber tegangan sebesar  $5V_{DC}$ .



## HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

### Modul Catu Daya

Pengujian modul catu daya pada perancangan ini bertujuan untuk mengetahui hasil keluaran tegangan dari modul yang akan digunakan sebagai sumber tegangan untuk modul-modul lain. Pengujian modul catu daya dilakukan dengan menggunakan alat ukur berupa multimeter digital. Pengukuran dilakukan sebanyak 5 kali dengan tujuan untuk mengetahui tingkat kestabilan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh modul. Modul catu daya ini dirancang dengan spesifikasi tegangan masukan sebesar 220 V<sub>AC</sub> dan tegangan keluaran sebesar 5 V<sub>DC</sub>. Hasil pengujian dari modul catu daya dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

■ **Tabel 3.** Hasil pengujian modul Catu Daya

Tegangan <i>input</i>	Tegangan <i>output</i> percobaan ke- (VDC)					Hasil Rata-rata (VDC)
	1	2	3	4	5	
220 VAC	4.97	4.98	4.97	4.98	4.98	4.976

### Modul Fotodetektor

Pengujian modul fotodetektor bertujuan untuk mengetahui kinerja dari fotodetektor sebagai *input* dari keseluruhan sistem. Pengujian pada modul ini dilakukan melalui dua tahap. Tahap pertama dilakukan dengan cara pengukuran besaran hambatan yang dihasilkan pada saat fototransistor berada dalam kondisi terkena cahaya dan tidak terkena cahaya. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui tingkat sensitivitas dari fototransistor yang digunakan. Tahap kedua ialah pengukuran yang dilakukan terhadap hasil tegangan keluaran dari keseluruhan modul fotodetektor. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui tegangan keluaran yang dihasilkan modul pada saat mendeteksi adanya perubahan indikator LED pada KWH meter. Alat pengukuran yang digunakan pengukuran ini adalah *Ampere Voltage Ohm* (AVO) Meter digital.

Proses pengukuran pertama dilakukan terhadap fototransistor secara langsung. Proses ini dilakukan dengan cara menghubungkan kaki fototransistor pada *Ohmmeter*. Fototransistor kemudian akan disinari dengan beberapa jenis cahaya yang dihasilkan dari sumber cahaya yang berbeda-beda. Dalam percobaan ini, sumber cahaya yang digunakan antara lain adalah cahaya hijau serta cahaya merah dari indikator LED pada KWH meter digital dan cahaya lampu bohlam LED berintensitas sebesar 600 Lumens. Tabel hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.

■ **Tabel 4.** Besar Hambatan Fototransistor terhadap Sumber Cahaya

Jenis Sumber Cahaya	Besar Hambatan (Ohm)
Indikator LED KWH Meter (Merah)	14k
Indikator LED KWH Meter (Hijau)	350k
Keadaan Tanpa Cahaya	400k
Lampu Bohlam LED 600 Lumens	1k

Proses pengukuran kedua dilakukan dengan cara mengukur besar tegangan keluaran yang dihasilkan dari keseluruhan modul fotodetektor baik pada saat fototransistor terkena cahaya hijau ataupun cahaya merah lampu indikator LED KWH meter digital. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa tegangan keluaran dari modul fotodetektor dapat digunakan sebagai *input* pada mikrokontroler. Seperti yang telah diketahui bahwa mikrokontroler bekerja pada logika level tegangan dari 0V sampai dengan 5V, maka dari itu besaran tegangan keluaran yang didapatkan dari modul fotodetektor harus bernilai 0V pada saat fototransistor terkena cahaya hijau indikator LED KWH meter digital dan bernilai 5V pada saat fototransistor terkena cahaya merah indikator tersebut. Tabel 5 menunjukkan hasil tegangan keluaran yang didapat dari modul fotodetektor.

■ **Tabel 5.** Hasil Tegangan Keluaran Modul Fotodetektor

Kondisi	Tegangan Keluaran (VDC)
Indikator LED warna hijau	0
Indikator LED warna merah	4.98

### Modul Mikrokontroler

Pengujian modul mikrokontroler bertujuan untuk memastikan bahwa semua *port input* dan *output* (I/O) dari mikrokontroler dapat berjalan dengan baik. Pengujian ini dilakukan dengan cara membuat rangkaian

sederhana berisi saklar serta LED dan menghubungkannya pada semua *port* I/O mikrokontroler. Mikrokontroler kemudian akan diprogram dengan program sederhana yang berfungsi untuk mengaktifkan atau mematikan saklar dan LED tersebut

Sesuai dengan pengujian, dapat dilihat bahwa *port* 1.0 sampai dengan *port* 1.2 mikrokontroler dihubungkan dengan saklar. Saklar ini berguna sebagai sumber *input* dari mikrokontroler. Sinyal *input* dari saklar-saklar ini kemudian akan diproses melalui program sederhana untuk mengendalikan *output* mikrokontroler berupa LED yang terletak pada *port* 3.0 - 3.7, *port* 0.0 - 0.7, dan *port* 2.0 - 2.7. Potongan program yang digunakan dalam pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.2. Pada program tersebut saklar pertama pada *port* 1.0 memiliki kegunaan untuk mengendalikan sejumlah *output* LED pada *port* 0.0 sampai dengan *port* 0.7, sedangkan saklar kedua pada *port* 1.1 memiliki fungsi untuk mengatur *output* LED pada *port* 2.0 sampai dengan *port* 2.7. Demikian pula dengan saklar terakhir pada *port* 1.2 mengatur keseluruhan fungsi *output* pada *port* 3. Hasil dari pengujian modul mikrokontroler dapat dilihat pada Tabel 6. Berdasarkan hasil percobaan tersebut dapat diketahui bahwa semua *port* pada mikrokontroler dapat bekerja dengan baik.

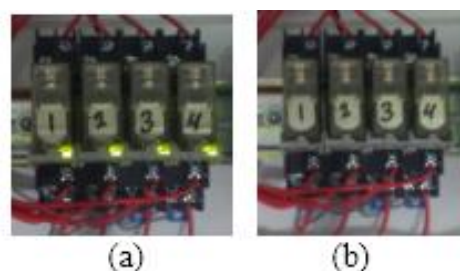
■ **Tabel 6.** Hasil Pengujian Modul Mikrokontroler

<i>Input</i> Saklar	Kondisi	<i>Output</i> LED	Keadaan
P1.0	1	P0.0 - P0.7	Semua Menyala
	0	P0.0 - P0.7	Mati
P1.1	1	P2.0 - P2.7	Semua Menyala
	0	P2.0 - P2.7	Mati
P1.2	1	P3.0 - P3.7	Semua Menyala
	0	P3.0 - P3.7	Mati
P1.0 & P1.1	1	P0.0 - P0.7, P2.0 - P2.7	Semua Menyala
	0	P0.0 - P0.7, P2.0 - P2.7	Mati
P1.0 & P1.2	1	P0.0 - P0.7, P3.0 - P3.7	Semua Menyala
	0	P0.0 - P0.7, P3.0 - P3.7	Mati
P1.1 & P1.2	1	P2.0 - P2.7, P3.0 - P3.7	Semua Menyala
	0	P2.0 - P2.7, P3.0 - P3.7	Mati
P1.0, P1.1, & P1.2	1	P0.0 - P0.7, P2.0 - P2.7, P3.0 - P3.7	Semua Menyala
	0	P0.0 - P0.7, P2.0 - P2.7, P3.0 - P3.7	Mati

### Modul Switch Driver untuk Relay

Pengujian modul *switch driver* bertujuan untuk mengetahui kinerja dari rangkaian *relay* pada sistem. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, terdapat 2 jenis *relay* yang digunakan dalam rangkaian modul *switch driver*. *Relay* pertama bertugas sebagai perantara untuk menghubungkan *relay* kedua dengan tegangan pengaktif *coil* yang berasal dari PLN, sedangkan *relay* kedua memiliki fungsi untuk memutuskan arus pada MCB jika sisa token pulsa telah melewati batas kredit.

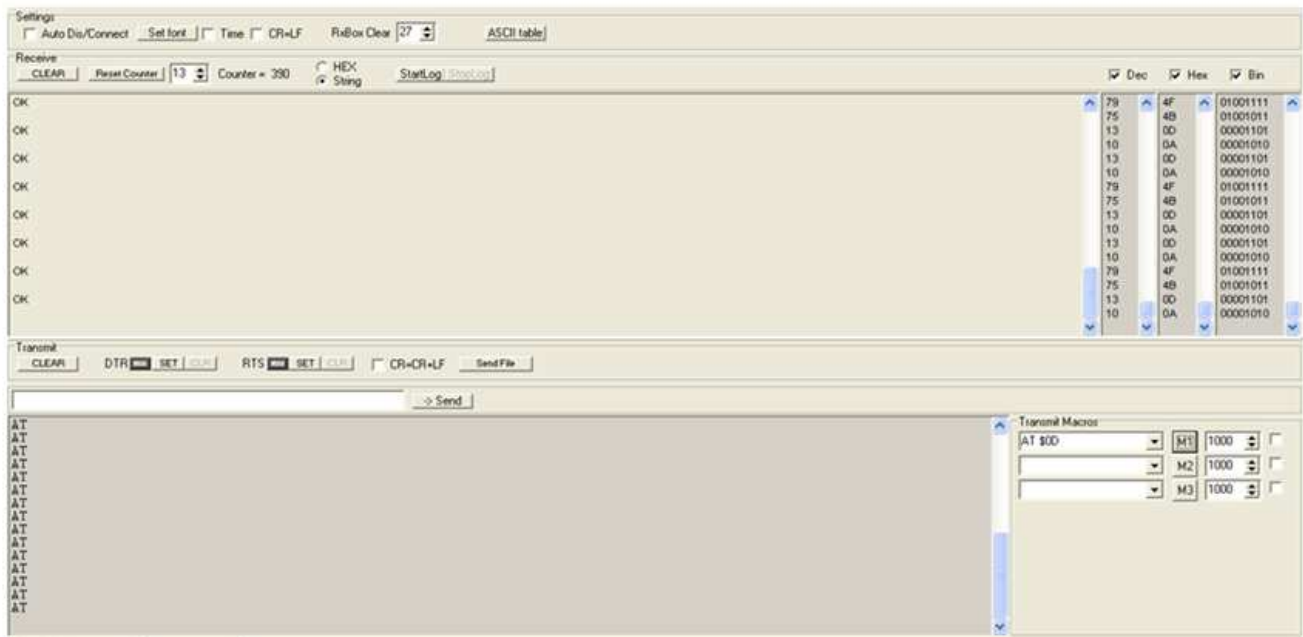
Pengujian pada *relay* pertama diawali dengan cara menghubungkan *relay* tersebut pada *port* mikrokontroler. Setelah itu, mikrokontroler akan diprogram untuk mengaktifkan *port* yang terhubung dengan *relay*. Arus pada kaki-kaki *relay* kemudian akan diukur seiring dengan terjadinya perubahan perintah program dari mikrokontroler. Hal ini bertujuan untuk menentukan apakah *switch* pada *relay* pertama tersebut dapat berfungsi dengan baik. Sementara itu, pengujian pada *relay* kedua dilakukan secara kualitatif. Pada bagian dalam *relay* kedua terdapat sebuah indikator LED yang akan menyala jika *relay* dalam kondisi aktif. Gambar dari hasil pengujian *relay* kedua dapat dilihat pada Gambar 12.



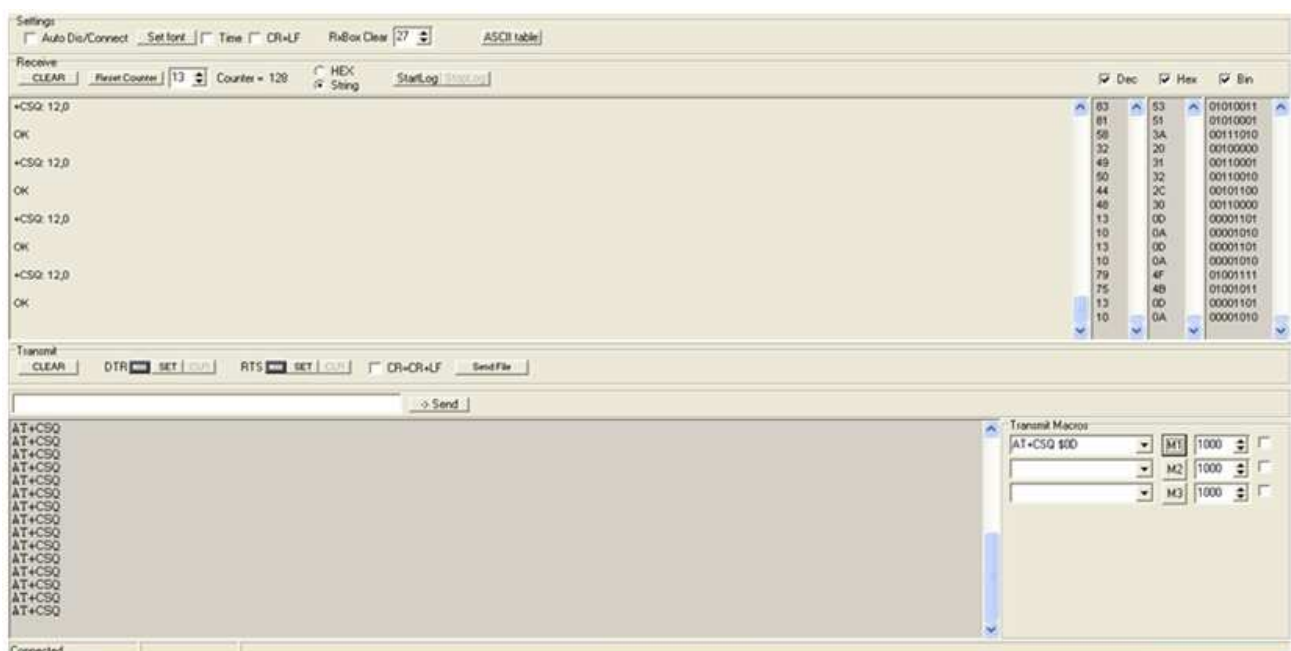
■ **Gambar 12.** (a) Kondisi *Relay* dalam Keadaan Aktif (b) Kondisi *Relay* dalam Keadaan Mati

### Modul *Global System for Mobile Communication*

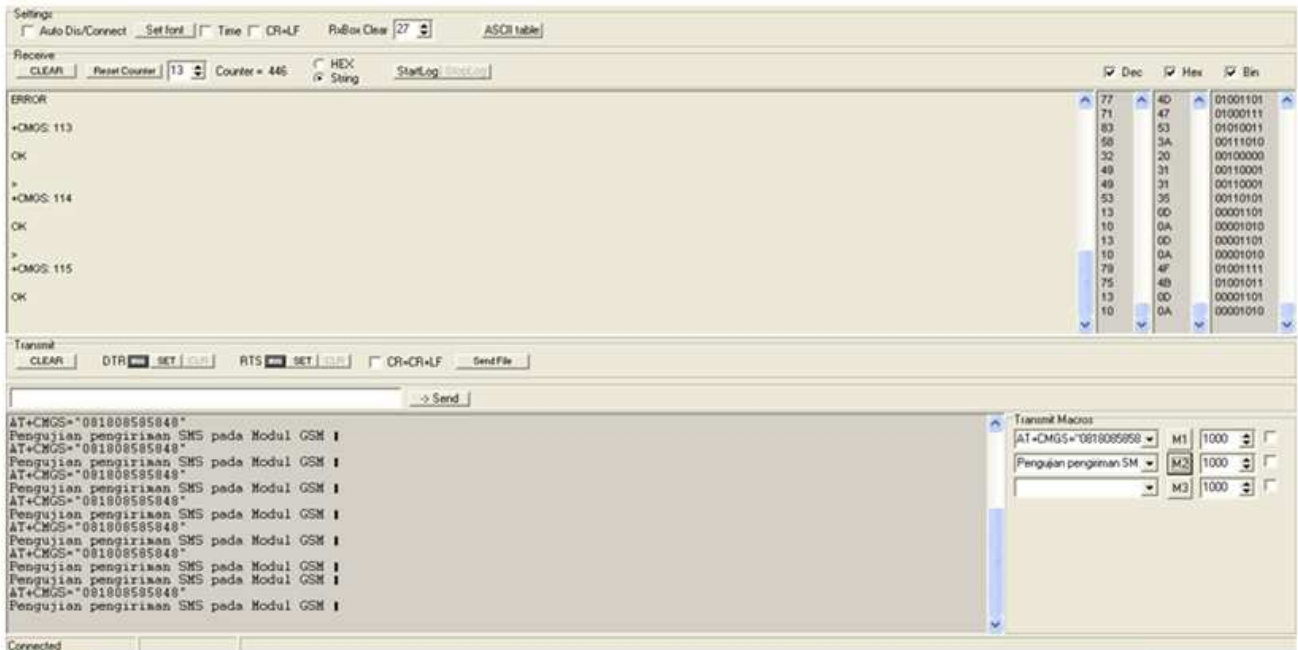
Pengujian modul *Global System for Mobile Communication* (GSM) bertujuan untuk mengetahui apakah modul GSM dapat menjalankan perintah *AT Commands* dengan baik. Pengujian diawali dengan cara menghubungkan modul GSM dengan komputer melalui kabel data serial. Kemudian perintah *AT Commands* dikirim melalui komputer dengan bantuan aplikasi *Terminal*. Perintah *AT Commands* yang digunakan dalam pengujian ini antara lain adalah AT, AT+CSQ, dan AT+CMGS. AT adalah perintah yang digunakan untuk menguji apakah modul GSM telah terkoneksi dengan komputer, sedangkan AT+CSQ adalah perintah yang berfungsi untuk mengetahui kekuatan sinyal yang sedang didapatkan oleh modul GSM itu sendiri. Representasi kekuatan sinyal ini ditampilkan dalam bentuk angka bernilai dari 0-30 dan 99,99. Angka 0 merepresentasikan kekuatan sinyal paling lemah, sedangkan angka 30 adalah nilai yang terkuat dan angka 99,99 menandakan bahwa modul GSM sedang dalam kondisi *error*. Perintah lain yang digunakan dalam pengujian ini adalah AT+CMGS. AT+CMGS adalah perintah *AT Command* yang digunakan untuk melakukan pengiriman pesan singkat. Untuk menjalankan perintah ini, pengiriman *command* harus dilengkapi dengan nomor telpon tujuan dan isi pesan. Gambar dari hasil pengujian pada modul GSM dapat dilihat pada Gambar 13, Gambar 14, Gambar 15, dan Gambar 16.



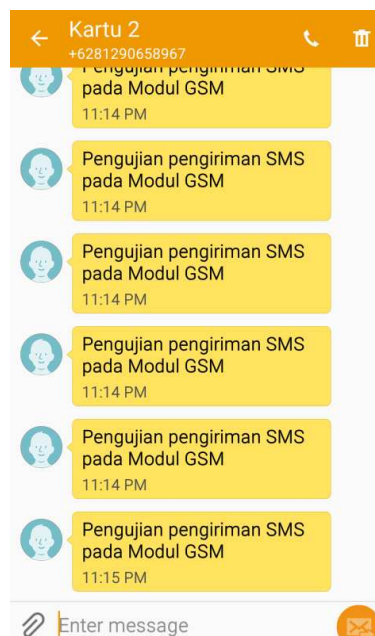
■ Gambar 13. Hasil Pengiriman Command AT pada modul GSM



■ Gambar 14. Hasil Pengiriman Command AT+CSQ pada modul GSM



■ **Gambar 15.** Hasil Pengiriman Command AT+CMGS pada modul GSM



■ **Gambar 16.** Pesan Singkat yang Diterima dari Hasil Pengujian Modul GSM

### Pengujian dan Analisis Sistem

Pengujian keseluruhan sistem ini dilakukan untuk mengetahui apakah alat dapat berjalan dengan baik. Pengujian ini dilakukan dengan merangkai terlebih dahulu semua modul menjadi satu sistem. Pada pengujian ini, jumlah saklar MCB dan modul *switch driver* yang akan dipakai dibatasi sebanyak 4 buah. Interval waktu antara pemadaman saklar juga terlebih dahulu diatur dalam pemograman, yaitu selama 2 menit.

Pengujian mulai dilakukan dengan menghubungkan modul detektor dengan indikator LED pada KWH meter. Batas kredit pada KWH meter tersebut kemudian akan diatur sehingga indikator akan menunjukkan nyala LED berwarna merah. Seperti yang telah diketahui, nyala merah pada indikator LED menandakan bahwa sisa token pulsa yang terdapat pada KWH meter tersebut telah berada pada batas bawah kredit. Hasil *output* sistem kemudian dapat dilihat dari modul *switch driver* yang sebelumnya terlebih dahulu dihubungkan dengan modul mikrokontroler. Semua *relay* kedua, yaitu *relay* yang berfungsi untuk memutuskan aliran arus ke MCB, pada modul *switch driver* akan dipasang dalam kondisi *normally closed*, sehingga ketika *relay* tersebut diaktifkan, kondisi *relay* akan menjadi *open* dan aliran arus yang mengalir dari KWH meter ke beban akan terputus.

Selain terhubung dengan modul *switch driver*, modul mikrokontroler juga akan dihubungkan dengan modul GSM. Modul GSM ini akan bekerja pada saat bersamaan dengan modul *switch driver*. Melalui modul GSM tersebut akan dikirim pesan singkat ke suatu nomor ponsel tertentu. Tampilan isi pesan peringatan yang dikirim dapat dilihat pada Gambar 17.



■ Gambar 17. Tampilan Pesan Peringatan dari Modul GSM

### KESIMPULAN

Setiap komponen dalam perancangan sistem telah teruji sesuai dengan fungsinya masing-masing. Sebagai contoh, komponen fototransistor yang digunakan dapat mengidentifikasi perubahan warna indikator LED pada KWH meter, yaitu dari merah ke hijau ataupun sebaliknya. Pengujian terhadap keseluruhan sistem ternyata telah menunjukkan bahwa sistem dapat berfungsi sesuai dengan tujuan, yaitu menjangkau pengguna secara *real time* melalui pengiriman SMS dari modul GSM, dan mengurangi penggunaan listrik untuk menghindari terjadinya pemutusan listrik secara tiba-tiba dengan proses pengaktifan *relay* sesuai dengan interval waktu yang telah ditentukan. Secara keseluruhan sistem dapat berjalan dengan baik, akan tetapi masih terdapat beberapa kekurangan seperti proses pengaturan interval waktu antara setiap proses pengaktifan *relay* yang masih harus dilakukan secara manual dalam pemrograman pada modul mikrokontroler.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.A. Khoirudin, "KWH Meter Digital Prabayar untuk Skala Rumah Tangga dengan Menggunakan Sistem Voucher", Teknik Kelistrikan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia. Tahun? (tambahkan)
- [2] R. Boylestad dan L. Nashelsky, *Electronic Devices and Circuit Theory*, 7<sup>th</sup>ed. New Jersey: Prentice-Hall International, Inc., 1998, Chapter 19, Halaman 783.
- [3] Kilian, *Modern Control Technology: Components and System*, 2<sup>nd</sup> ed. New York: Delmar Thomson Learning, 2001, Chapter 4, halaman 123.
- [4] H. Wicaksono, "Relay - Prinsip dan Aplikasi", Teknik Elektro Universitas Kristen Petra, Surabaya, Indonesia. Tahun? (tambahkan)
- [5] M. Kahabka, *Pocket Guide for Fundamentals and GSM Testing*, 2<sup>nd</sup> ed, Eningen: Eandel & Goltermann, 2000, Halaman 8.
- [6] L.H. Yen, "Global System for Mobile Communication (GSM)", Departemen Teknik Komputer dan Sains Universitas Chung Hua, Cina. . Tahun? (tambahkan)
- [7] S.M. Sze dan Kwok K. Ng, *Physics of Semiconductor Devices*, 3<sup>rd</sup> ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2007, Chapter 13, Halaman 663.